

中等专业学校
电子信息类

规划教材

机械制造基础

孙平 主编

国防工业出版社

中等专业学校电子信息类规划教材

机 械 制 造 基 础

孙平 主编

国防工业出版社

·北京·

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社、各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求，编制了《1996～2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我部教材办商各专指委、出版社后，审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需、尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的《1996~2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由全国中专电子机械专业教学指导委员会编审、推荐出版。本教材由本溪市电子工业学校孙平担任主编，主审许继钧，责任编委孙希羚。

本教材的参考学时数 150 学时，其主要内容有：机械制造常用的金属材料和非金属材料的种类、性能、用途及改性方法；金属毛坯和零件的铸造、锻压和焊接成形；金属切削过程的基本规律和提高切削加工效益的途径；金属切削机床的用途及所使用的刀具、典型通用机床的工作原理及运动分析；工件在夹具中的定位与夹紧、典型机床夹具的特点；影响机械加工质量的因素和提高机械加工质量的方法；制定机械加工工艺规程的步骤与方法；轴类零件、箱体类零件和圆柱齿轮的加工工艺；装配工作的内容、装配方法和装配工艺规程的制定；计算机辅助制造、计算机辅助工艺设计、柔性制造系统和计算机集成制造系统简介。

使用本教材时应注意：机械制造涉及的知识面很广，讲授中要突出重点，以点带面，注重联系实际，着重介绍基本概念和基本原理。要尽量使用实物、模型、电化、现场教学、参观等教学手段，使学生获得机械制造过程中的基础理论和基本知识。

本教材由孙平编写绪论、第四章、第六章、第七章、第八章、第九章和第十章，钱同仁编写第一章和第二章，焦安范编写第三章和第五章。参加审阅工作的还有冯炳尧、于德友、杨士伟、桂强生、卢小平、任建伟、宋春枝、何彦廷、黄诚驹、陈剑鹤同志，他们都为本书提出了许多宝贵意见，在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

一九九八年一月

目 录

绪论	1	四、合金工具钢	31
第一章 机械工程材料	3	五、特殊钢	33
§ 1-1 金属材料的力学性能	3	§ 1-7 铸铁	33
一、强度和塑性	3	一、铸铁的石墨化	34
二、硬度	4	二、灰铸铁	34
三、韧性	6	三、球墨铸铁	36
四、抗疲劳性	7	四、可锻铸铁简介	37
§ 1-2 金属的晶体结构与		§ 1-8 有色金属	38
结晶	7	一、铝及铝合金	38
一、金属的晶体结构	7	二、铜及铜合金	41
二、金属的结晶	8	§ 1-9 硬质合金和超硬刀具	
三、金属的同素异构转变	9	材料	44
四、晶体缺陷	9	一、硬质合金	44
§ 1-3 铁碳合金	10	二、超硬刀具材料	45
一、合金的相结构	10	§ 1-10 非金属材料	46
二、合金的组织	11	一、高分子材料	46
三、铁碳合金的基本组织	12	二、陶瓷	49
四、Fe-Fe ₃ C 平衡图	13	三、复合材料	50
五、钢的成分、组织和性能之间		习题一	50
的关系	16	第二章 金属毛坯和零件的成形	53
§ 1-4 钢的热处理	17	§ 2-1 铸造	53
一、钢在加热时的组织转变	17	一、砂型铸造	53
二、钢在冷却时的组织转变	17	二、金属的铸造性能	57
三、钢的退火与正火	20	三、铸造工艺设计	58
四、钢的淬火与回火	21	四、特种铸造	61
五、钢的表面淬火和化学热处理	23	五、常用铸造方法的选择	64
§ 1-5 碳素钢	25	§ 2-2 锻压	65
一、杂质元素的影响和碳素钢		一、金属的塑性变形	65
的分类	25	二、锻造	67
二、碳素钢的牌号、性能和用途	25	三、冲压	71
§ 1-6 合金钢	29	四、常用锻压方法的比较	74
一、合金元素在钢中的作用	29	§ 2-3 焊接	75
二、合金钢的分类和牌号表示		一、手工电弧焊	76
方法	29	二、其它焊接方法	81
三、合金结构钢	30	三、金属的焊接性	84

四、焊接方法的选用·····	86	四、切削用量的选择·····	117
习题二·····	86	五、切削液的选择·····	119
第三章 金属切削基本原理 ·····	88	习题三·····	121
§ 3-1 基本定义·····	88	第四章 金属切削机床及刀具 ·····	
一、切削运动·····	88	§ 4-1 金属切削机床的基本知识·····	122
二、工件上的加工表面·····	88	一、金属切削机床的分类·····	122
三、切削用量·····	89	二、金属切削机床型号的编制方法·····	122
四、刀具的几何参数·····	89	三、金属切削机床的运动·····	124
五、切削层参数·····	94	四、金属切削机床的技术性能·····	125
§ 3-2 金属切削变形·····	94	§ 4-2 车床及车刀·····	125
一、切削层的变形·····	94	一、概述·····	125
二、第一变形区的变形·····	95	二、CA6140 型卧式车床·····	126
三、第二变形区的变形·····	96	三、其它车床简介·····	134
四、第三变形区的变形·····	96	四、车刀·····	138
五、切屑的种类·····	97	§ 4-3 磨床及砂轮·····	140
§ 3-3 切削力·····	97	一、概述·····	140
一、切削力的分析·····	98	二、M1432A 型万能外圆磨床·····	141
二、切削力的计算·····	98	三、其它磨床简介·····	144
三、工作功率的计算·····	99	四、砂轮·····	146
四、影响切削力的主要因素·····	99	五、磨削加工的特点及砂轮的修整·····	150
§ 3-4 切削热与切削温度·····	101	§ 4-4 齿轮加工机床及齿轮刀具·····	152
一、切削热的产生与传出·····	101	一、概述·····	152
二、切削温度的分布·····	101	二、滚齿机·····	153
三、影响切削温度的主要因素·····	101	三、其它齿轮加工机床·····	158
§ 3-5 刀具磨损与刀具耐用度·····	102	四、齿轮刀具·····	160
一、刀具的磨损形式·····	102	§ 4-5 其它机床及其刀具·····	164
二、刀具磨损的原因·····	103	一、钻床及钻削用刀具·····	164
三、刀具的磨损过程及磨钝标准·····	104	二、镗床及镗刀·····	168
四、刀具耐用度·····	105	三、刨床、拉床及拉刀·····	173
§ 3-6 金属工件材料的切削加工性·····	105	四、铣床及铣刀·····	176
一、材料切削加工性的评定·····	105	§ 4-6 特种加工简介·····	182
二、影响材料切削加工性的主要因素·····	106	一、电火花加工·····	182
三、常用金属材料的切削加工性·····	108	二、电解加工·····	183
四、改善材料切削加工性的途径·····	110	三、电化学机械加工·····	183
§ 3-7 金属切削条件的合理选择·····	110	四、激光加工·····	184
一、刀具材料的选择·····	110	五、电子束加工·····	184
二、刀具几何参数的选择·····	111	六、离子束加工·····	185
三、刀具耐用度的选择·····	116	七、超声波加工·····	186

习题四	187	§ 6-4 影响机械加工表面质量 的因素	243
第五章 机床夹具	188	一、影响零件表面粗糙度的因素	243
§ 5-1 概述	188	二、影响零件表面层物理力学性 能的因素	244
一、机床夹具的组成	188	§ 6-5 提高机械加工质量的途 径与方法	246
二、机床夹具的分类	188	一、提高机械加工精度的途径	246
三、机床夹具的作用	190	二、提高机械加工表面质量的方 法	247
§ 5-2 工件在夹具中的定位	190	习题六	250
一、工件的装夹方法	190	第七章 机械加工工艺规程设计	252
二、基准及其分类	190	§ 7-1 概述	252
三、工件定位的基本原理	191	一、生产过程与机械加工工艺过 程	252
四、常见的定位方式和定位元件	193	二、机械加工工艺过程的组成	252
§ 5-3 定位误差	202	三、生产类型与工艺特征	254
一、产生定位误差的原因	202	四、机械加工工艺规程	255
二、定位误差的计算	203	五、制定机械加工工艺规程的原 则和步骤	256
§ 5-4 工件在夹具中的夹紧	208	§ 7-2 机械加工工艺规程编制 的准备工作	259
一、夹紧装置的组成及基本要求	208	一、原始资料准备及产品工艺性 分析	259
二、夹紧力的确定	209	二、零件的结构工艺性	260
三、典型夹紧机构	211	三、毛坯的选择	262
四、夹紧动力源装置	216	§ 7-3 机械加工工艺路线的 拟定	264
§ 5-5 各类机床夹具简介	218	一、定位基准的选择	264
一、车床夹具	218	二、表面加工方法的确定	266
二、铣床夹具	218	三、加工顺序的安排	269
三、钻床夹具	219	§ 7-4 工序设计	271
四、数控加工用夹具	222	一、加工余量的确定	271
习题五	224	二、工序尺寸及其公差确定	273
第六章 机械加工质量	227	三、工艺尺寸链的计算	274
§ 6-1 概述	227	四、机床及工艺装备的选择	279
一、机械加工精度	227	五、切削用量的确定	280
二、机械加工表面质量	228	六、时间定额的确定	280
§ 6-2 影响机械加工精度的 因素	229	§ 7-5 工艺方案的技术经济 分析	281
一、工艺系统几何误差对加工精 度的影响	230	一、工艺成本的组成	281
二、工艺系统力效应对加工精度 的影响	233		
三、工艺系统热变形对加工精度 的影响	236		
§ 6-3 机械加工精度的综合 分析	237		
一、加工误差的性质	238		
二、加工误差的统计分析	238		

二、工艺方案的比较	281	二、装配尺寸链的建立	320
§ 7-6 提高机械加工生产率的		三、保证装配精度的方法	321
工艺措施	283	§ 9-3 装配工艺规程的制订	331
一、缩短单件时间	283	一、装配工艺规程的制订原则和	
二、采用成组技术	286	所需原始资料	331
习题七	291	二、装配工艺规程制订的步骤	332
第八章 典型零件加工工艺	293	习题九	335
§ 8-1 轴类零件加工	293	第十章 机械制造系统的发展	336
一、概述	293	§ 10-1 计算机辅助制造	
二、轴类零件加工的主要工艺		(CAM)	337
问题	294	一、计算机辅助制造的含义	337
三、卧式车床主轴加工工艺	297	二、计算机辅助制造的数据库	338
四、轴类零件的检验	301	§ 10-2 计算机辅助工艺规程设	
§ 8-2 箱体类零件加工	303	计 (CAPP)	339
一、概述	303	一、计算机辅助工艺规程设计的基	
二、箱体类零件加工的主要工艺		本原理	339
问题	304	二、各种类型计算机辅助工艺规程	
三、圆柱齿轮减速器箱体加工		设计系统的适用范围	340
工艺	307	§ 10-3 柔性制造系统	
四、箱体类零件的检验	310	(FMS)	341
§ 8-3 圆柱齿轮加工	311	一、柔性制造系统的构成	341
一、概述	311	二、柔性制造系统的类型	342
二、圆柱齿轮加工的主要工艺		三、柔性制造系统的效益	343
问题	312	§ 10-4 计算机集成制造系统	
三、圆柱齿轮加工工艺	315	(CIMS)	345
四、圆柱齿轮的检验	318	一、计算机集成制造系统的含义	345
习题八	318	二、计算机集成制造系统的组成	345
第九章 装配工艺	319	三、计算机集成制造系统的效益	346
§ 9-1 装配工作的基本内容	319	习题十	346
§ 9-2 装配方法	319	主要参考文献	347
一、装配精度	319		

绪 论

机械制造业是国民经济的基础工业，它为冶金、石油、建筑、化工、纺织、电子、医疗、交通、动力、航空、军事、科研等各行业提供机器、仪器、工具等机械装备，是技术进步和影响国家综合国力的重要方面。

机械产品的生产过程，主要由下列环节构成。

(1) 原材料和能源供应。原材料是以钢铁为主的金属结构材料，以及应用比例不断增大的各种特殊合金、金属粉末、工程塑料、复合材料和工程陶瓷材料等。能源主要有电力、焦炭、可燃气体、重油、蒸汽和压缩空气等，通过电能转换而产生的高密度能源及其它特种能源的应用也不断增加。

(2) 毛坯和零件成形。金属毛坯和零件的成形方式有铸造、锻压、冲压、焊接和轧材下料，其它材料也有各自的特种成形方法。随着毛坯精密成形工艺的发展，有的毛坯成形后，已接近或达到零件的最终形状的尺寸。采用两种以上方法制造毛坯的铸-锻、铸-焊、锻-焊、冲-焊、铸-锻-焊结构零件也不断出现。

(3) 零件机械加工。零件机械加工指采用切削、磨削和特种加工等方法，逐步改变毛坯的形态（形状、尺寸及表面质量），使其成为合格零件。

(4) 材料改性与处理。材料通过热处理和电镀、转化膜、涂装、热喷涂等表面保护工艺，可改变零件的整体、局部或表面的金相组织及物理力学性能，使其具有符合要求的强度、韧性、耐磨性、耐蚀性及其它特种性能。

(5) 装配与包装。装配是把零件按一定的关系和要求连接在一起，组合成部件和整机机械产品的工艺过程。为保证机械产品在贮存运输中质量完好，出厂前要进行包装。

(6) 搬运与贮存。搬运与贮存是合理安排生产过程中各种物料（原材料、工件、成品、工具、辅助材料、废品废料等）的流动与中间贮存的技术，也是机械制造工艺流程中保证生产正常进行、减少投资、加速资金周转、提高经济效益的重要环节，贯穿于从原材料到产品出厂的全过程。

(7) 检测与质量监控。检测与质量监控是指保证工艺过程的正确实施和产品质量所使用的一切质量控制措施。它包括材料的检验、工艺过程在线检测与控制、工序（工艺）间检验、零部件检验和产品性能试验等各主要环节，贯穿于整个机械制造工艺过程。

(8) 自动控制装置与系统。通过采用各种形式和级别的自动控制装置与系统，实现生产过程各种信息的自动生成、传送、优选和控制。可显著提高产品质量的稳定性，降低劳动强度，大幅度提高劳动效率。

随着机械工业的发展和科学技术的进步，机械制造技术发生了巨大变化。其特征有以下方面。

(1) 常规工艺不断优化。铸造、锻压、焊接、热处理、机械加工等传统的常规工艺

不断改进和提高,形成了多种优质、高效、低耗、少无污染的先进适用工艺。如树脂等自硬砂造型取代粘土砂造型;可控气氛热处理或真空热处理取代在氧化气氛中的热处理;数控机床加工代替普通机床加工;无余量精密铸造、接近最终形状的精密塑性成形等可取代粗加工,甚至可以做到直接装配等。

(2) 新型加工方法不断出现。超硬材料、超塑材料、高分子材料、复合材料、工程陶瓷等新型材料的应用,导致了某些崭新加工技术的产生。特种加工和高密度能加工工艺,可加工任何硬的、脆的、耐热、高溶点的金属或非金属材料。超精密切削、超精密磨削和磨粒加工,可使加工精度从微米(μm)、亚微米级($10^{-2}\mu\text{m}$)向纳米级($1\text{nm}=10^{-3}\mu\text{m}$)发展。微细加工不仅加工精度极高,而且加工尺寸十分微小,甚至包括尺寸小于 $1\mu\text{m}$ 的材料制造和加工。

(3) 高新技术与工艺的紧密结合。微电子、计算机、自动化技术与机械制造工艺及设备相结合,形成了从单机到系统、从刚性到柔性、从简单到复杂的不同档次的自动化加工技术。如计算机辅助工艺规程编制、数控加工、计算机辅助设计/辅助制造、机器人、自动化搬运及仓储技术等越来越广泛地应用于工艺设计、加工及物流过程。而被称为工厂综合自动化技术的计算机集成制造系统和被称为 21 世纪制造技术的智能制造系统,将改变着整个机械制造技术的面貌。

第一章 机械工程材料

§ 1-1 金属材料的力学性能

金属材料在外力作用下所表现出的性能称为力学性能。外力按性质可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷三种。静载荷是指大小不变、或变动很缓慢的外力。冲击载荷是指突然作用到工件上的外力。交变载荷是指大小和方向作周期性变化的外力。在不同性质的外力作用下，金属材料表现出不同的力学性能。常用的力学性能有强度、塑性、硬度、韧性和抗疲劳性。

一、强度和塑性

(一) 拉伸试验

金属材料的强度和塑性通常采用拉伸试验来测定。测试前，先将金属材料制成标准试样。图 1-1 为圆柱形拉伸试样。

试样有长、短两种。原始标距 $l_0 = 5d_0$ 时为短试样； $l_0 = 10d_0$ 时为长试样。测试时，将试样两端安装在拉伸试验机的夹头内，当缓慢增大拉伸力时，试样也随之逐渐伸长，最后断裂。通过拉伸试验，可测得力—伸长曲线。低碳钢的力—伸长曲线如图 1-2 所示。

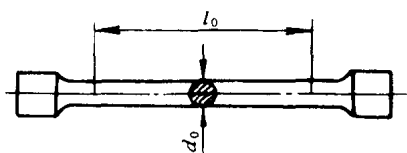


图 1-1 圆柱形拉伸试样

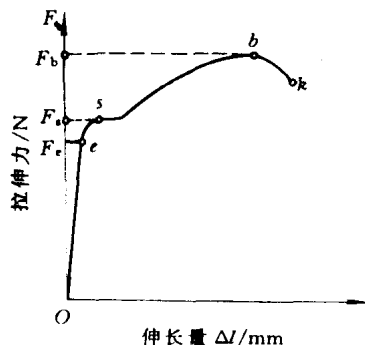


图 1-2 低碳钢的力—伸长曲线

在拉伸的开始阶段，试样产生弹性变形，故 Oe 近似一直线段。当拉伸力超过 F_e 后，试样产生塑性变形，当拉伸力增大到 F_s 时，曲线上出现一水平线段，表示即使外力不增加，试样仍继续产生塑性变形，这种现象称为屈服。屈服后，只有增大外力，试样才继续产生塑性变形，当拉伸力达到 F_b 后，变形集中发生在试样的某一局部，试样上出现缩颈。随着缩颈处横截面积的减小，外力下降。试样在最小截面处断裂。

(二) 强度

强度是材料抵抗塑性变形及断裂的能力。常用的强度指标有屈服点和抗拉强度。

1. 屈服点

材料在屈服时的应力称为屈服点，用符号 σ_s (MPa) 表示：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 F_s ——试样在屈服时所受的拉伸力 (N)；

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

对于无明显屈服现象的材料，国家标准规定，用试样产生的塑性变形为原始标距的 0.2% 时的应力作为材料的条件屈服点，用符号 $\sigma_{r0.2}$ 表示。

2. 抗拉强度

材料在拉断前承受的最大应力称为抗拉强度，用符号 σ_b (MPa) 表示：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 F_b ——试样拉断前承受的最大拉伸力 (N)。

σ_s 和 $\sigma_{r0.2}$ 表示材料抵抗微量塑性变形的能力， σ_b 表示材料抵抗明显塑性变形的能力，它们都是选材的主要依据。

(三) 塑性

塑性是材料在外力作用下断裂前产生永久变形的能力。常用的塑性指标有断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率

断后伸长率是试样拉断后标距的伸长量与原始标距的百分比，用长试样测得的伸长率用符号 δ 表示，用短试样测得的伸长率用 δ_5 表示：

$$\delta (\delta_5) = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_1 ——试样拉断后的标距 (mm)。

对于同一种材料， δ_5 大于 δ 。

2. 断面收缩率

断面收缩率是试样拉断处横截面积的减小量与原始横截面积的百分比，用符号 ψ 表示。

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_1 ——试样断口处的横截面积 (mm^2)。

塑性好的材料容易进行轧制、锻造、冲压等变形加工，并且零件只有具备一定的塑性，使用中才不易发生突然断裂。

二、硬度

硬度是指金属材料抵抗局部变形（特别是塑性变形、压痕）和划痕的能力。常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度，它们都是通过相应的硬度试验测定的。

(一) 布氏硬度

布氏硬度的测定原理如图 1-3 所示。试验时，用一定直径 D 的钢球或硬质合金球

为压头，以相应的试验力 F 压入试件表面，并保持一定的时间，然后卸除试验力，测定压痕直径 d (mm)。压痕单位面积上的平均压力，就是所测试件的布氏硬度值，用符号 HBS (压头为钢球) 或 HBW (压头为硬质合金球) 表示。实际试验时，只需根据压痕直径 d 查表即可。书写时，布氏硬度值标在符号前，布氏硬度值的单位，通常省略不写。

由于布氏硬度试验所得的压痕面积较大，所以能较准确地反映试件的硬度，但其测定过程较麻烦，并且不能用于测定太薄的试件或成品件。

布氏硬度常用于测定金属原材料和硬度不高的钢件、铸铁件或有色金属的硬度。HBS 适用测定布氏硬度值低于 450 的材料，HBW 适用于测定布氏硬度值低于 650 的材料。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度是根据压痕的塑性变形深度来确定材料硬度的，测定原理如图 1-4 所示。试验时以锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的钢球为压头，先加初始试验力 98N (10kgf)，使压头从试件表面 a 处压至 b ，再加主试验力，使压头压至 c ，然后卸去主试验力。由于试件弹性变形的恢复，压头回升至 d 。深度 bd 就是所要测的塑性变形深度。硬度计将该深度以洛氏硬度值在刻度盘上显示出来。

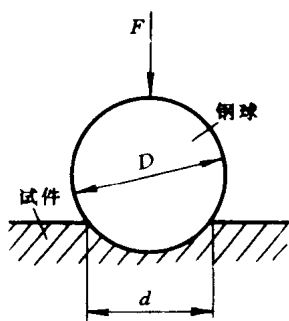


图 1-3 布氏硬度测定原理

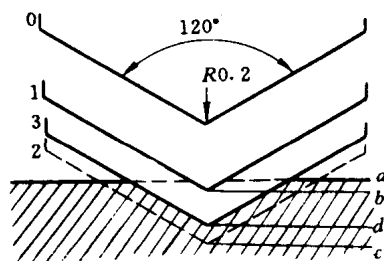


图 1-4 洛氏硬度测定原理

洛氏硬度有三种常用标尺，其硬度符号、试验条件和应用如表 1-1 所列。

表 1-1 常用洛氏硬度符号及试验条件和应用举例

硬度符号	压头类型	总试验力 /N (kgf)	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120° 金刚石圆锥体	1471.0 (150)	20~67HRC (相当 >225HBS)	一般淬火钢件
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 钢球	980.7 (100)	25~100HRB (相当 60~230HBS)	软钢、退火钢、铜合金等
HRA	120° 金刚石圆锥体	588.4 (60)	60~85HRA	硬质合金、表面淬火钢等

洛氏硬度试验迅速简便，可直接测定成品件和较薄工件的硬度，但由于测试时压痕小，数值易产生波动，一般需在同一试件的不同部位测试三次，取其平均值作为该材料的硬度值。

(三) 维氏硬度

维氏硬度的测试原理与布氏硬度基本相同，所不同的只是所用的压头是锥面夹角为

136°的金刚石正四棱锥，如图 1-5 所示。测量出压痕底面两对角线 d 的长度平均值，查表就可得被测材料的维氏硬度值，用符号 HV 表示。

维氏硬度因试验力小，压痕浅，故主要用来测定工件表面薄的硬化层或金属镀层的硬度，以及薄片金属的硬度。

应当指出，各种硬度值不能直接进行比较，必须通过硬度换算表换算成同一种硬度值后方可比较大小。

硬度在生产上应用广泛，在零件图上常常标注有某种硬度值，作为零件的技术要求。各种零件和工具，都应具备一定的硬度值，以保证足够的强度、耐磨性和使用寿命。

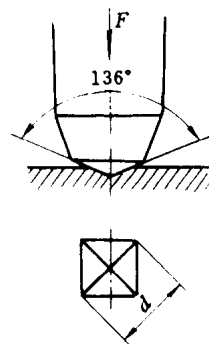


图 1-5 维氏硬度测试原理

三、韧性

韧性是指金属在冲击载荷作用下，断裂前吸收变形能量的能力。韧性常用摆锤式一次冲击试验来测定。

(一) 冲击试验原理

冲击试验原理如图 1-6 所示。试验时，把试样 2 安放在试验机的支座 3 上，使试样缺口背向摆锤冲击方向。将质量为 m 的摆锤 1 升至规定高度 H ，然后下落将试样打断，并通过支点升至高度 h 。试样在冲击力一次作用下折断时所吸收的功称为冲击吸收功，用符号 A_K (J) 表示。 A_K 可由刻度盘 5 直接读出。

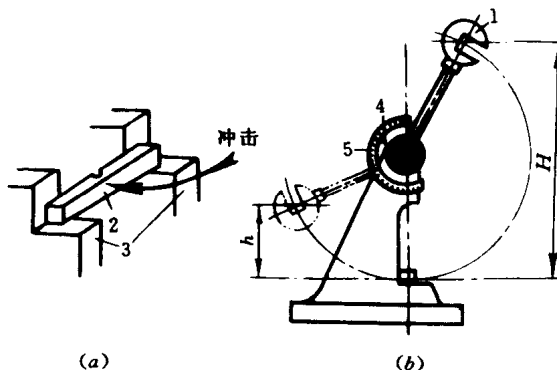


图 1-6 冲击试验原理
(a) 安放试样；(b) 冲断试样。

(二) 冲击韧度

试样缺口底部单位横截面上的冲击吸收功，称为冲击韧度，用符号 a_K (J/cm²) 表示。

$$a_K = \frac{A_K}{S}$$

式中 S ——试样缺口底部横截面积 (cm²)。

冲击韧度 a_K 越大，表示材料抵抗冲击载荷的能力越大，即韧性越好。工作中承受冲击载荷的零件应具备一定的韧性。

四、抗疲劳性

抗疲劳性是指材料抵抗交变载荷的能力。

在交变载荷多次作用下,即使交变应力小于 σ_s ,材料也会发生断裂,这种现象称为疲劳。据统计,大部分机械零件的损坏是由疲劳破坏造成的。

材料的抗疲劳性用疲劳极限加以衡量。疲劳极限是指材料经无数次交变应力的作用而不致破裂的最大应力,用符号 σ_{-1} 表示。实际试验时一般规定,钢铁材料经受 10^7 次、有色金属材料经受 10^8 次交变应力作用而不破裂的最大应力为疲劳极限。

材料的疲劳极限 σ_{-1} 越高,表示材料抵抗交变载荷的能力越强。在交变载荷下工作的零件,应具备足够的疲劳极限。

§ 1-2 金属的晶体结构与结晶

金属的力学性能与金属内部的组织结构有着密切的关系,因此,要掌握金属材料性能变化,就必须了解其内部的组织结构及形成过程。

一、金属的晶体结构

(一) 晶体结构的基本概念

晶体是指其组成微粒(原子、分子或离子)在空间作有规则排列的固态物质。固态金属一般为晶体。晶体结构如图 1-7 所示。

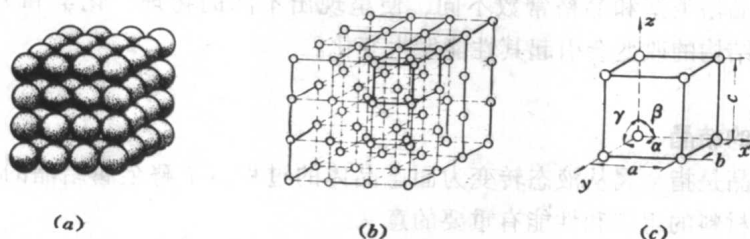


图 1-7 金属晶体结构示意图

(a) 圆球模型; (b) 晶格; (c) 晶胞。

为了描述晶体中原子排列的规律,常用假想的线条把各原子中心连结起来,可得到一个空间格子,称为晶格,如图 1-7 (b) 所示。晶格中,各线条的交点称为结点;各种方位的原子层称为晶面;连结原子中心的任一直线所指的方向称为晶向。

从晶格中选取一个能完全反映晶格特征的最小几何单元,称为晶胞,如图 1-7 (c) 所示。晶胞的形状和大小,可用晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 和棱间夹角 α 、 β 、 γ 来表示。棱边长度称为晶格常数,其长度单位为 nm (纳米, $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)。若 $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$,则此晶格称为立方晶格。

(二) 常见的金属晶格类型

绝大多数金属的晶格属于图 1-8 所示的三种晶格类型。

1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 1-8 (a) 所示,在立方晶胞的八个顶点和中心各有一个

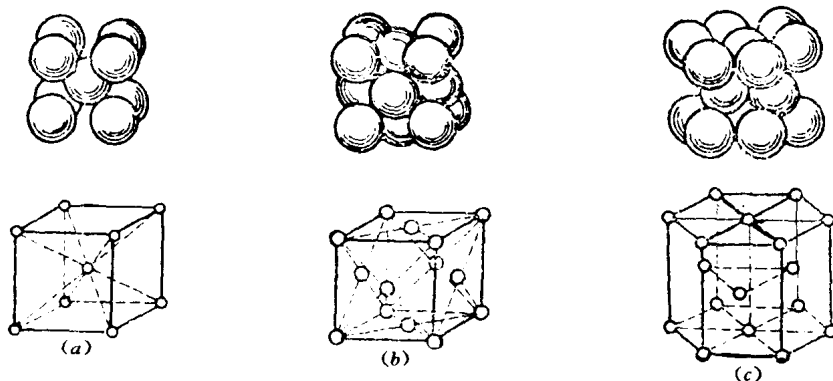


图 1-8 常见的金属晶格类型

(a) 体心立方晶胞; (b) 面心立方晶胞; (c) 密排六方晶胞。

原子。属于这种晶格的常见金属有铁 (α -Fe)、铬、钨、钼、钒等。

2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 1-8 (b) 所示, 在立方晶胞的八个顶点和六个面的中心各有一个原子。具有这种晶格的常见金属有铁 (γ -Fe)、铝、铜、镍等。

3. 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞为一正六棱柱, 原子位于两个底面的中心和十二个顶点以及柱体内部, 如图 1-8 (c) 所示。具有这种晶格的常见金属有镁、锌、铍等。

金属由于晶格类型和晶格常数不同, 便呈现出不同的物理、化学和力学性能。因此, 金属晶体结构的改变会引起其性能发生变化。

二、金属的结晶

金属的结晶是指金属从液态转变为固态晶体的过程。了解金属结晶的过程和规律, 对于改善金属材料的组织和性能有重要的意义。

(一) 结晶温度

金属的冷却过程可用如图 1-9 所示的冷却曲线表示。冷却曲线上水平线段所对应的温度就是金属的结晶温度。金属在结晶时, 由于放出大量的结晶潜热, 补偿了热量的散失, 故金属结晶在恒温下进行。在极其缓慢的冷却条件下测得的结晶温度称为理论结晶温度 t_0 , 在实际冷却条件下测得的结晶温度称为实际结晶温度 t_1 。 t_1 总是低于 t_0 , 这种现象称为过冷。 t_0 与 t_1 之差, 称为过冷度。金属液体的冷却速度越大, t_1 越低, 过冷度就越大。

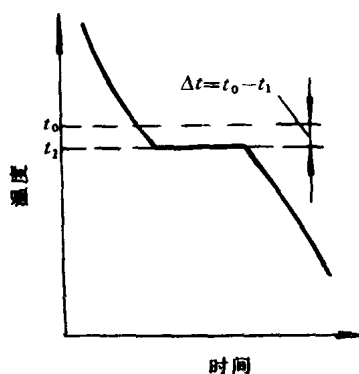


图 1-9 金属的冷却曲线

(二) 金属的结晶过程

金属的结晶过程如图 1-10 所示。当液态金属过冷到一定温度时, 液体中会产生一些极细小的晶体, 成为结晶的核心, 称为晶核。晶核吸附周围液体中的原子, 不断长

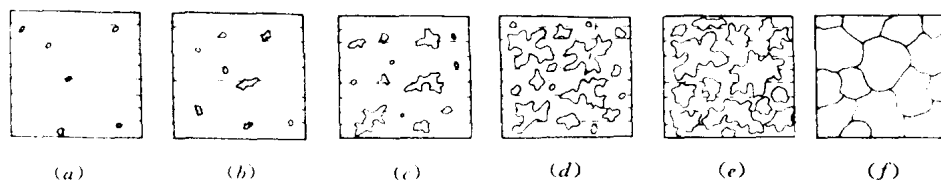


图 1-10 金属结晶过程示意图

大。同时，液体中又不断产生新的晶核并长大，直至液体金属全部结晶完毕。这时，固态金属由许多外形不规则的小晶体即晶粒所组成。由于不同的晶粒是由不同的晶核长成的，故具有不同的晶格位向。晶粒之间自然形成的分界面称为晶界。这种由许多晶粒组成的晶体称为多晶体，而只有一个晶粒组成的晶体称为单晶体。工业上使用的金属材料通常为多晶体。

(三) 结晶时细化晶粒的措施

由于多晶体是由许多晶粒所组成，因此晶粒的大小会对金属力学性能产生很大的影响。一般情况下，金属晶粒越细，金属的强度越高，塑性、韧性越好。

从金属结晶的过程可知，要使晶粒细小，关键是要增加金属液体中的晶核数量。生产上常采用以下措施来细化晶粒。

1. 增加过冷度

增加过冷度能使晶核形成速度大于长大速度，使晶核数量相对增多。

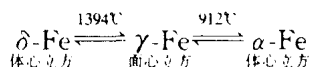
2. 进行孕育处理

在液态金属结晶前，加入一些固态物质，在金属液中形成大量不熔的固态质点，作为人工晶核，使晶核数量显著增加。这种细化晶粒的方法，称为孕育处理。

三、金属的同素异构转变

有些金属在固态时具有几种晶格类型，因而随着温度的变化，其晶格类型会发生改变。在固态下，金属的晶格类型随温度而发生的改变，称为同素异构转变。

在生产上，纯铁的同素异构转变十分重要。其转变情况如图 1-11 所示。铁有两次同素异构转变，其转变过程如下：



同素异构转变实质上也是一种结晶过程，同样遵循结晶的基本规律，因而称为二次结晶。通过同素异构转变，可使晶粒细化。

四、晶体缺陷

在实际的金属晶体中，由于结晶条件和压力加工等因素的影响，存在着大量原子排列不

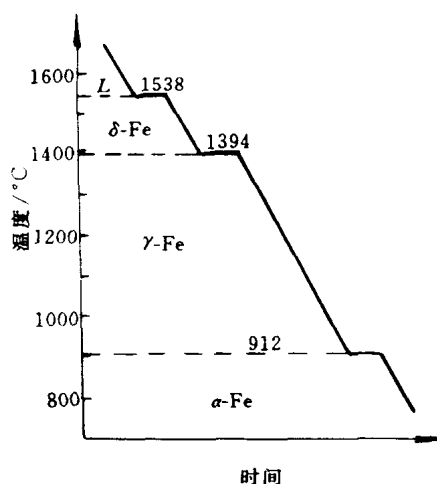


图 1-11 纯铁的同素异构转变